

Интеллектуальный самоходный электромеханический измеритель коэффициента сцепления аэродромных покрытий

В. Н. Шелудько, А. А. Кузнецов, В. В. Путов, М. М. Копычев, Т. Л. Русяева, А. Р. Музалевский

Кафедра систем автоматического управления
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
mmkopychev@etu.ru

Аннотация. Существующие буксируемые или встроенные в серийный автомобиль измерители коэффициента сцепления (КС) являются обязательным оборудованием аэродромов гражданской авиации во всем мире, обеспечивая безопасность посадки воздушных судов в экстремальных погодных условиях. В докладе обсуждается концептуальная модель автономного, полностью автоматизированного измерителя коэффициента сцепления, перемещающегося на самоходной специализированной электромеханической платформе, что исключает необходимость в обслуживающем персонале: водителе и операторе измерений), а также в применении серийного автомобиля.

Ключевые слова: измерение коэффициента сцепления; взлетно-посадочная полоса; безопасная посадка воздушных судов; автономное интеллектуальное управление движением; система технического зрения; обнаружение и объезд препятствий; курсовая устойчивость

I. ВВЕДЕНИЕ

Проблема обеспечения безопасности посадки воздушных судов гражданской авиации в экстремальных погодных условиях актуальна как для стран с холодными снежными зимами, так и для стран с жарким климатом. Поэтому для обеспечения безопасности посадки в ненадежных погодных условиях необходимо проводить предпосадочные оперативные измерения коэффициента сцепления (КС) ВПП с целью определения безопасной тормозной дистанции приземляющихся воздушных судов.

Основные международные требования к качеству средств измерения КС шасси приземляющихся воздушных судов с покрытием ВПП сформулированы в международных и российских Руководствах по эксплуатации аэропортов гражданской авиации [1, 2].

Группой сотрудников кафедры систем автоматического управления СПбГЭТУ «ЛЭТИ» совместно с индустриальным партнером ООО «Невская инженерная компания» (СПб) в рамках проекта «Создание и исследование новой технологии измерения коэффициента сцепления аэродромных покрытий и разработка на ее основе мобильного комплекса для прогнозирования безопасной посадки воздушного

транспорта» ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы» создан полностью автоматизированный буксируемый электромеханический измеритель коэффициента сцепления (ИКСЭМ, приведённый на рис. 1), построенный на базе электромеханического имитатора измерительным колесом реальных тормозных режимов воздушных судов [3, 4, 5].



Рис. 1. Общий вид буксируемого измерительного комплекса ИКСЭМ

Он состоит из автоматически управляемого электромеханического устройства управления, электрошкафа управления и автоматики; узла с независимой подвеской измерительного колеса; буксируемого шасси; пульта управления и индикации; компьютеризированного рабочего места оператора на командно-диспетчерском пункте аэродрома и переносного метрологического стенда.

В докладе обсуждается концептуальный облик предпринятого в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» создания на базе описанного измерителя автономного полностью автоматизированного самоходного комплекса. Предлагаемый безэкипажный комплекс наследует все упомянутые составные части ИКСЭМ, исключая буксируемое шасси с несущей рамой, и взамен его

приобретает автономную самоходную платформу с электродвижением и интеллектуальным управлением.

II. АВТОНОМНЫЙ САМОХОДНЫЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ

Компьютерная модель самоходной платформы приведена на рис. 2. Она состоит из усиленной металлической рамы, к которой крепятся четыре транспортных автомобильных поддресоренных колеса на литых дисках. Связывающим звеном между колесами и металлической рамой являются передняя и задняя подвески самоходной платформы. Через них передаются силы, действующие на транспортные колеса.

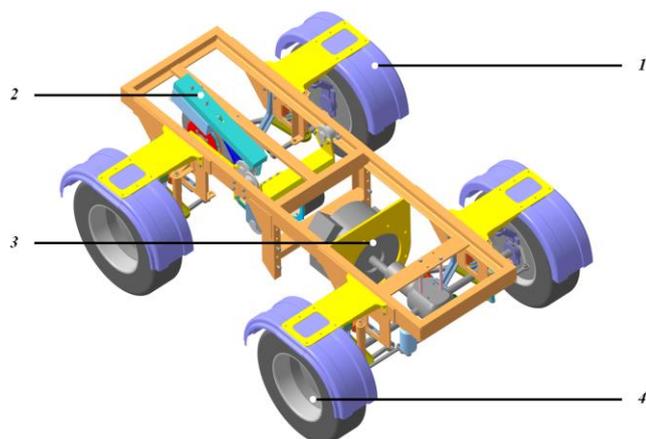


Рис. 2. Компьютерная модель самоходной платформы: 1 – транспортные задние колеса, 2 – балка с грузом электромеханической измерительной подвески, 3 – асинхронный приводной электродвигатель передней подвески, 4 – передние приводные поворотные колеса

В подвеску включены элементы, которые смягчают передаваемые динамические нагрузки, уменьшают колебания платформы при движении, обеспечивают хорошую устойчивость и плавность хода. Задние колеса оснащаются независимой подвеской. Передние колеса, помимо независимой подвески, оснащаются редуктором с дифференциалом, что вместе образует передний мост. Подвеска необходима для сохранения конструкции и составных частей измерительного комплекса во время движения. Передняя ось платформы оснащается приводным асинхронным электродвигателем, который питается от аккумуляторных батарей. Поворот передних колес осуществляется за счёт поворотного механизма, включающего поворотный двигатель (актуатор) и крепление поворотного механизма к раме платформы. Поворотный манёвр осуществляется по принципу рулевого управления Аккермана.

Узел с независимой рычажной подвеской заимствуется из ИКСЭМ и располагается в задней части самоходной платформы в виде ее «пятого колеса».

В шкафу управления и автоматики, помимо системы управления поддержанием скольжения измерительного

колеса, располагается системы навигации и компьютерного зрения и навигации.

III. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Интеллектуальная система автономного управления движением измерительного комплекса включает в себя систему компьютерного зрения, обеспечивающую безаварийное перемещение автономного измерителя от места стоянки в ангаре аэродромной службы к месту проведения измерений, а также систему курсовой устойчивости проезда по измеряемой поверхности с соблюдением требований проведения измерений, а также требований разметки и знаков дорожного движения.

Система компьютерного зрения, обеспечивающая безаварийное перемещение автономного комплекса, реализуется с помощью камеры глубины, совмещающей излучатель паттерна инфракрасных лучей и камеру с инфракрасным фильтром. Инфракрасный эмиттер излучает матрицу инфракрасных лучей на окружающие камеру объекты, инфракрасный свет, отражаясь от препятствия, считывается RGB-камерой с инфракрасным фильтром в результате чего получается массив данных карты глубины, представляющий собой изображение в градациях серого, на котором более близкие объекты имеют темный оттенок, дальние – более светлый. Последовательная обработка такого изображения позволяет рассчитывать расстояние до препятствий. Разделив изображение на три части – левый, средний и правый участок – можно определить, в какой области находится препятствие и по какой траектории его объехать. Алгоритм базируется на использовании программных библиотек с открытым исходным кодом OpenNI и OpenCV для среды программирования QtCreator. На рис. 3 приведен пример получаемой с камеры глубины изображения.

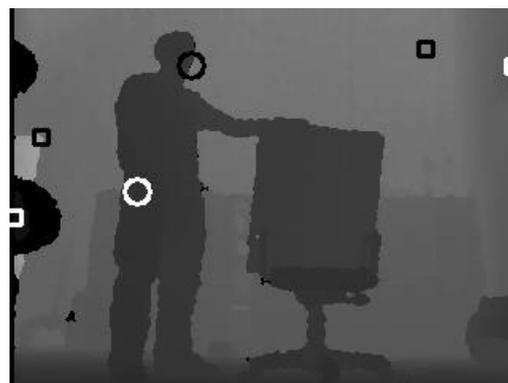


Рис. 3. Пример изображения, получаемого с камеры глубины

Недостатком камеры глубины является принцип её работы основан на излучении и приеме инфракрасного света, что ограничивает эффективность её функционирования. Этот недостаток может быть устранен применением стереокамеры и системы стереозрения.

Стереозрение позволяет объединить задачи распознавания образов и пространственной ориентации в одном устройстве. Задача преобразования двух независимых изображений с двух камер решается с помощью различных программных алгоритмов. Один из них строится следующим образом: на двух изображениях производится поиск особых точек, в которых происходит резкое изменение производной яркости пикселей, сопоставление координат этих точек на обоих изображениях и расчёт расстояний до этих точек. Так как камеры расположены под одним углом и на одной высоте, то соответствующие особые точки будут иметь одну и ту же координату. Этот алгоритм показывает высокую скорость выполнения и удовлетворительную точность. На рис. 4 приведены результаты распознавания: а – распознаваемое препятствие; б – результат распознавания.

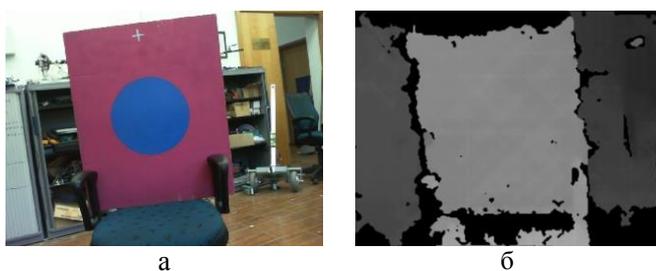


Рис. 4. Результаты распознавания препятствий стереокамерой: а – распознаваемое препятствие; б – результат распознавания

Таким образом, с помощью двух RGB-камер возможно определить наличие препятствий на пути движения автономной платформы и с помощью карты глубины рассчитать расстояние до каждого из них. После этого строится предварительный маршрут следования с учётом объезда препятствий. По мере движения платформы по маршруту её координаты определяются с помощью известных скоростей колёс, а маршрут корректируется с учётом новых построений карты глубины. В случае перемещения препятствия при следующем его обнаружении координаты препятствия обновляются, и маршрут перестраивается.

Система компьютерного зрения, обеспечивающая курсовую устойчивость измерительного комплекса, должна распознавать геометрические и цветовые паттерны. Геометрическим паттерном является дорожная разметка на искусственной поверхности взлетно-посадочной полосы или рулежных дорожек. Измерение коэффициента сцепления на взлетно-посадочной полосе проводится в два заезда, каждый из которых совершается измерителем таким образом, что центральная прерывистая линия разметки взлетно-посадочной полосы оказывается слева по ходу движения транспортного средства. Справа от измерителя оказывается сплошная линия разметки, обозначающая край полосы. Таким образом, система компьютерного зрения должна обеспечивать движение измерителя между левой прерывистой линией и правой сплошной линией разметки во время измерений. Различение цветовых паттернов необходимо для распознавания дорожных знаков, а также, при

необходимости, указателей на взлетно-посадочной полосе.

Распознавание геометрии объектов осуществляется с помощью RGB-камеры. Исходное цветное изображение преобразуется в цветовую гамму градаций серого, это делается для уменьшения объема обрабатываемых данных. Далее применяется фильтр Гаусса, «размывающий» полученное черно-белое изображение для фильтрации шумов. На следующем этапе происходит применение алгоритма детектирования границ Кенни, позволяющего найти границы перехода на изображении по величине производной яркости пикселей. Далее происходит выборка замкнутых контуров среди всех найденных. Поскольку боковая линия является значительно длиннее отрезка центральной, то контуры, имеющие большую длину, попадают в массив боковых линий.

Координата центральной линии определяется как среднее арифметическое значение координат центров всех найденных участков центральной линии, которые находятся левее найденной координаты правой боковой линии.

Направление движения комплекса рассчитывается как отклонение среднего значения координат центральной и боковой линий дорожной разметки от центра изображения. Для увеличения устойчивости алгоритма к шумам в систему также вводится медианный фильтр, фильтрующий рассчитанные углы поворота рулевых колёс.

На рис. 5 показаны результаты распознавания дорожной разметки.

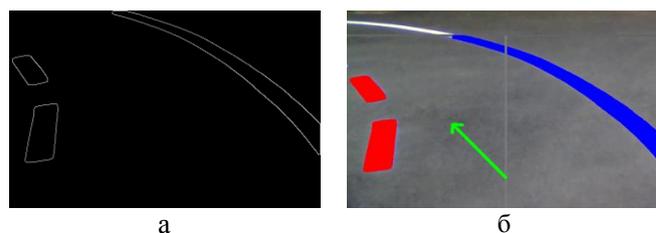


Рис. 5. Скриншоты работы алгоритма распознавания дорожной разметки: а – найдённые контуры; б – результат распознавания

Дорожные знаки имеют общие признаки – круглую форму и наличие красного или синего фона, поэтому первой стадией их распознавания является выделение областей красного и синего цвета на изображении. Область нахождения знака будет считаться корректно определённой, если будет обнаружен эллипс красного или синего цвета с заданным в определённом диапазоне соотношением сторон. Далее изображение обрабатывается с помощью нейронной сети с архитектурой многослойного перцептрона. Результат работы нейронной сети представлен на рис.6.



Рис. 6. Распознавание дорожных знаков

IV. СИСТЕМА НАВИГАЦИИ

Точность определения местоположения с помощью глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) обычно составляет до десятка метров и более, что не удовлетворяет требованиям настоящей задачи. Поэтому в создаваемом автономном измерителе применена дифференциальная ГНСС, осуществляемая путем размещения приемника ГНСС, являющегося базовой станцией, в заранее определенном местоположении. Базовая станция измеряет расстояние до каждого спутника и рассчитывает фактическое расстояние, используя свою известную позицию. Измеренные расстояния могут содержать ошибки, такие как ошибки в данных эфемерид или внутренних шумов приемника. Разница между измеренным и вычисленным расстоянием определяет дифференциальную коррекцию, которая передается ГНСС приемникам пользователей через различные каналы связи.

Основные источники сигналов дифференциальной ГНСС – это радионавигационные маяки (наземные системы дифференциальной коррекции) и спутники на геостационарной орбите. В зависимости от типа используемых ГНСС приемников, поправки дифференциальной ГНСС позволяют достичь точности определения координат в субдециметровом диапазоне [7].

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Представлен интеллектуальный самоходный измеритель коэффициента сцепления для обеспечения

безопасной посадки воздушных судов. Описана конструкция комплекса, основанная на использовании четырехколесной переднеприводной платформы с дифференциалом на передней оси. Для имитации тормозных режимов авиашасси используется система автоматического управления торможением, обеспечивающая антиблокировочные режимы работы измерительного колеса комплекса. Для обеспечения безопасности в режиме измерения устройство оснащается системой компьютерного зрения, позволяющей распознавать образы, избегать столкновений с препятствиями и следовать требованиям разметки взлетно-посадочной полосы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Состояние поверхности ВПП: оценка, измерение и представление данных (Cir 329 AN/191) / Международная организация гражданской авиации (ИКАО), 2012. 92 с.
- [2] Авиационные правила. Часть 170 Сертификация оборудования аэродромов и воздушных трасс (ПА-170). Том 2. Сертификационные требования к оборудованию аэродромов и воздушных трасс. Издание третье. / Межгосударственный авиационный комитет (МАК), 2013.
- [3] On improving the efficiency of methods and technical solutions of prelanding air field coatings frictional properties control / Putov V.V., Putov A.V., Kazakov V.P., Rusyaeva T.L., Kopichev M.M. // Proc. of the 2015 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, 2015, p. 270-274.
- [4] On correlation between the airport runway friction coefficient measurement results and the real-life aircraft take-off and landing braking characteristics / Putov V.V., Putov A.V., Sheludko V.N., Kopichev M.M., Ignatiev K.V. // Proc. of International Conference on Soft Computing and Measurements, 2015, p. 119-121.
- [5] Electromechanical imitator of antilock braking modes of wheels with pneumatic tire and its application for the runways friction coefficient measurement / Putov A.V., Kopichev M.M., Ignatiev K.V., Putov V.V., Stotckaia A.D. // Proc. of the 11th International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences, La Rochelle, France, 4-8 July 2016.
- [6] The Application of GPS-RTK in Engineering Measurement and Position / Jin Xu, Long Zhang, Yaolin Zhu, Huizi Gou // 2009 Second International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling; Wuhan, China, 30 Nov. – 1 Dec. 2009.
- [7] Спутниковые навигационные системы. М.: МАИ, 2004. 336 с.